CONTRIBUTION A L'ÉTUDE THÉORIQUE

DES

FLEUVES A MARÉE

ET

APPLICATION AUX RIVIÈRES A MARÉE

DU

BASSIN DE L'ESCAUT MARITIME

PAR

L. BONNET

Ingénieur en chef Directeur des Ponts et Chaussées.

(Suite).

Voir *Annales des Travaux Publics de Belgique*
3e, 4e et 5e fascicules de 1922.

§ 3. — Loi du débit.

Les données qui interviennent dans la vérification ci-dessous de la loi du débit, sont toutes reprises dans l'étude de M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt, sur le régime des rivières du bassin de l'Escaut maritime. Voir notamment les pages 172 et 173.

SECTION FLESSINGUE-RUPEL.

Flessingue

Débit de flot . . . . . . 1.176.294.300^{m3}

Débit supérieur pendant le flot : 127^{m3} (6 × 3600" + 5 × 60") 2.780.000

Total. . . 1.179.074 300^{m3}

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{1.179.074.300^{m3} \times 3^m,68}{86000^{m2}} = 50400.$$

Terneuzen.

Débit de flot . . . . 750.563.400^{m3}

Débit supérieur: 114 (6 × 3600 + 19 × 60) 2.595.000

Total. . . . 753.158.400^{m3}

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{753.158.400 \times 3,94}{59950} = 49500.$$

Hansweert.

Débit de flot . . . . 481.526.000^{m3}

Débit supérieur : 105 (6 × 3600 + 14×60). 2.360.000

Total. . . 483.886.000^{m3}

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{483.886.000 \times 4,16}{40785} = 49300.$$

Bath.

Débit de flot . . . . 187.068.800^{m3}

Débit supérieur : 96 (5 × 3600 + 56×60) . 2.050.000

Total. . . 189.118.800^{m3}

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{189.118.800 \times 4,41}{18172} = 45900.$$

Lillo.

Débit de flot . . . . 92.389.300^{m3}

Débit supérieur : 91 (5 × 3600 + 50 × 60) . 1.911.000

Total. . . 94.300.300^{m3}

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{94.300.300 \times 4,45}{8879} = 47300.$$

Fort Philippe.

Débit de flot . . . . 73.950.500^{m3}

Débit supérieur : 88 (5 × 3600 + 48 × 60). 1.840.000

Total. . . 75.790.500^{m3}

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{75.790.500 \times 4,41}{7042} = 47500.$$

Anvers.

Débit de flot . . . . 59.341.900^{m3}

Débit supérieur : 85 (5 × 3600 + 40 × 60). 1.735.000

Total. . . 61.076.900^{m3}

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{61.076.900 \times 4,57}{5485} = 48650.$$

Hemixem.

Débit de flot . . . . 41.733.250^{m3}

Débit supérieur : 80,5 (5 × 3600 + 22 × 60) 1.558.000

Total. . . 43.291.250^{m3}

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{43.291.250 \times 4,51}{3565} = 52300.$$

Rupel (aval embouchure).

Débit de flot . . . . 38.455.400^{m3}

Débit supérieur : 80 (5 × 3600 + 22 × 60) . 1.549.000

Total. . . 40.004.400^{m3}

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{40.004.400 \times 4,2}{3155} = 53200.$$

Valeur moyenne de la constante C entre Flessingue et le Rupel :

$$C = (50400 + 49500 + 49300 + 45900 + 47300 + 47500 + 48650 + 52300 + 53200) : 9 = 49350.$$

SECTION RUPEL-DURME.

Rupel (*amont embouchure*).

Débit de flot	$28.690.940^{m3}$
Débit supérieur : 43^{m3} (5 × 3600" + 32 × 60")	830.000
Total. . .	$29.520.940^{m3}$

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{29.520.940^{m3} \times 4^{m},2}{3155\ ^{m2}} = 39300.$$

Thielrode.

Débit de flot	$16.841.760^{m3}$
Débit supérieur : 40 (5 × 3600 + 5 × 60) .	732.000
Total. . .	$17.573.760^{m3}$

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{17.573.760 \times 3,99}{1690} = 41400.$$

Durme (*aval embouchure*).

Débit de flot	$15.900.000^{m3}$
Débit supérieur : 40 (5 × 3600 + 5 × 60) .	732.000
Total. . .	$16.632.000^{m3}$

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{16.632.000 \times 3,96}{1556} = 42300.$$

Valeur moyenne de la constante C entre le Rupel et la Durme :

$$C = (39300 + 41400 + 42300) : 3 = 41000.$$

SECTION DURME-GENTBRUGGE.

Durme (*Amont embouchure*).

Débit de flot	$12.160.440^{m3}$
Débit supérieur : 38^{m3} (5 × 3600" + 5 × 60").	695.000
Total. . .	$12.855.440^{m3}$

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{12.855.440^{m3} \times 3^{m},96}{1556^{m2}} = 32700.$$

Baesrode.

Débit de flot	$6.224.000^{m3}$
Débit supérieur : 35,5 (4 × 3600 + 50 × 60)	617.000
Total. . .	$6.841.000^{m3}$

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{6.841.000 \times 3,36}{771} = 29850$$

Termonde.

Débit de flot	$3.429\ 960^{m3}$
Débit supérieur : 26,5 (4 × 3600 + 46 × 60)	454.000
Total. . .	$3.883.960^{m3}$

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{3.883.960 \times 2,76}{353,1} = 30350.$$

Wetteren.

Débit de flot	439.350^{m3}
Débit supérieur : 23,5 (3 × 3600 + 46 × 60)	319.000
Total. . .	758.350^{m3}

Valeur de la constante C :

$$C = \frac{758.350 \times 1.57}{37,4} = 31.800.$$

Valeur moyenne de la constante C pour la section Durme-Gentbrugge :

$$C = (32700 + 29850 + 30350 + 31800) : 4 = 31200.$$

Si le barrage de Gentbrugge n'existait pas le volume de remplissage en amont de Gentbrugge serait égal à :

$$\frac{31200 \times 4^{m},55}{0.71} = 200000m^{3}$$

en admettant pour C la valeur moyenne calculée pour la section en amont de la Durme.

Il résulte des calculs ci-dessus que la vérification de la loi des débits se fait d'une manière très satisfaisante, pour une marée moyenne, sur toute l'étendue du fleuve. Les écarts relevés entre les résultats de la théorie et ceux de la pratique ne dépassent guère 5 p. c. le résultat moyen, ce qui est bien peu quand on envisage qu'il s'agit d'un des phénomènes les plus complexes qui se présentent en hydraulique fluviale

Considérons maintenant quatre autres marées dont la cubature a également été faite par M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt, soient : les deux marées de forte amplitude du 8-9 avril 1890 et les deux marées de faible amplitude du 8-9 octobre 1890.

Le niveau de la mi-marée variant relativement peu, quelle que soit la marée considérée, nous pouvons admettre, avec un certain degré d'approximation, que l'énergie des quatre marées envisagées varie suivant la même loi que celle de la marée moyenne. Nous pouvons dès lors représenter l'énergie des quatre ondes fluviales par les mêmes sections mouillées que celles qui ont été obtenues pour la marée moyenne. En opérant de cette manière, on peut dresser les tableaux XI, XII, XIII et XIV ci-après :

Tableau 11. — Marée du 8-9 avril 1890.

1er flot.

Stations.	Débits de flot.	Débits supérieurs moyens.	Débits totaux.	Amplitudes.	Sections d'équilibre.	Valeurs de la constante.	Valeurs moyennes de la constante.
	m³	m³	m³	m.	m²		
Flessingue	1.387.434.300	2.780.000	1.390.214.300	3,93	86.000	64.400	
Terneuzen	894.683.200	2.595.000	897.278.200	4,28	59.950	64.000	
Hansweert	588.153.900	2.360.000	590.513.000	4,45	40.785	64.400	
Bath	236.754.200	2.050.000	238.804.200	4,85	18.172	63.800	
Lillo	104.480.900	1.911.000	106.391.900	4,88	8.879	58.400	63.239
Fort Philippe	83.978.200	1.840.000	85.818.200	4,76	7.042	58.000	
Anvers	67.808.500	1.735.000	69.543.500	4,78	5.485	60.600	
Hemixem	49.227.300	1.558.000	50.785.300	4,59	3.565	65.400	
Rupel. Aval	46.004.200	1.549.000	47.553.200	4,65	3.155	70.100	
Rupel. Amont	33.658.300	830.000	34.488.300	4,65	3.155	50.900	
Thielrode	19.530.300	732.000	20.262.300	4,25	1.690	50.900	51.266
Durme Aval	18.440.000	732.000	19.172.000	4,22	1.556	52.000	
Durme Amont	13.655.000	695.000	14.350.000	4,22	1.556	38.900	
Baesrode	6.801.000	617.000	7.418.000	3,67	771	35.300	
Termonde	3.715.000	454.000	4.169.000	2,60	353,1	30.800	35.100
Wetteren	497.700	319.000	816.700	1,62	37,5	35.400	

Tableau 12. — Marée du 8-9 avril 1890.

2e flot.

Stations.	Débits de flot.	Débits supérieurs moyens.	Débits totaux.	Amplitudes.	Sections d'équilibre.	Valeurs de la constante.	Valeurs moyennes de la constante.
	m^3	m^3	m^3	m.	m^2		
Flessingue	1.273.603.700	2.780.000	1.276.383.700	3,94	86.000	58.400	
Terneuzen	823.944.800	2 595 000	826.539.800	4,15	59.980	57.200	
Hansweert	533.807.600	2.360.000	536.167.600	4,24	40.785	55.700	
Bath	213.033.000	2.050.000	215.083.000	4,66	18.172	55.200	
Lillo	94.236.000	1.911.000	96.147.000	4,60	8.879	49.800	53.766
Fort Philippe	74.906.800	1.840.000	76.746.800	4,49	7.042	49.000	
Anvers	59.674.700	1.735.000	61.409.700	4,41	5.485	49.400	
Hemixem	43.014.100	1.558.000	44.562.100	4,23	3.565	52.900	
Rupel. Aval	40.154.100	1.549.000	41.703.100	4,26	3.155	56.300	
Rupel. Amont	29.901.500	830.000	30.731.500	4,26	3.155	41.500	42.070
Thielrode	17.578.000	732.000	18.310.000	3,87	1.690	42.000	
Durme. Aval	16.580.000	732.000	17.312.000	3,84	1.556	42.700	
Durme. Amont	12.710.300	695.000	13.405.300	3,84	1.556	33.100	
Baesrode	6.236.700	617.000	6.853.700	3,36	771	28.800	27.650
Termonde	3.243.200	454.000	3.697.200	2,48	353	25.800	
Wetteren	350.600	319.000	669.600	1,24	37,5	22.200	

Tableau 13. — Marée du 8-9 octobre 1890.

1e flot.

Stations.	Débits de flot.	Débits supérieurs moyens.	Débits totaux.	Amplitudes.	Sections d'équilibre.	Valeurs de la constante.	Valeurs moyennes de la constante.
	m^3	m^3	m^3	m.	m^2		
Flessingue	629.839.700	2.780.000	632.619.700	1.72	86.000	12.550	
Terneuzen	418.679.200	2.595.000	421.274.200	2.03	59.980	14.250	
Hansweert	272.888.500	2.360.000	275.248.500	2.25	40.785	15.150	
Bath	110.573.600	2.050.000	112.623.600	2.47	18.172	15.300	
Lillo	57.982.800	1.911.000	59.893.800	2.59	8.879	17.500	
Fort Philippe	48.266.000	1.840.000	50.106.000	2.62	7.042	18.670	
Anvers	39.714.500	1.735.000	41.449.500	2.71	5.485	20.500	
Hemixem	29.035.600	1.558.000	30.593.600	2.73	3.565	23.400	
Tolhuys Aval	27.157.500	1.549.000	28.706.500	2.80	3.155	25.500	
Tolhuys Amont	20.116.200	830.000	20.946.200	2.80	3.155	18.600	
Thielrode	12.326.200	732.000	13.058.200	2.69	1.690	20.700	20.170
Durme Aval	11.630.000	732.000	12.362.000	2.67	1.566	21.200	
Durme Amont	8.973.600	695.000	9.668.600	2.67	1.556	16.600	
Baesrode	4.867.200	617.000	5.484.200	2.45	771	17.450	
Termonde	2.820.200	454.000	3.274.200	2 28	353	21.200	
Wetteren	3.653.000	319.000	684.300	1.30	37.5	23.700	

Tableau 14. — Marée du 8-9 octobre 1890.

2e flot.

Stations.	Débits de flot.	Débits supérieurs moyens.	Débits totaux.	Amplitudes.	Sections d'équilibre.	Valeurs de la constante.	Valeurs moyennes de la constante.
	m^3	m^3	m^3	m.	m^2		
Flessingue	884.970.700	2.780.000	887.750.700	2.73	86.000	28.200	
Terneuzen	581.233.300	2.595.000	583.828.300	3.02	59.980	29.400	
Hansweert	367.327.600	2.360.000	369.687.600	3.26	40.785	30.000	
Bath	145.072.900	2.050.000	147.122.900	3.47	18.172	28.150	
Lillo	76.204.800	1.911.000	78.115.800	3.55	8.879	31.300	
Fort Philippe	61.815.300	1.840.000	63.655.300	3.65	7.042	33.000	
Anvers	49.980.600	1.735.000	51.715.600	3.58	5.485	33.800	
Hemixem	35.594.100	1.558.000	37.152.100	3.56	3.565	37.200	
Tolhuys Aval	33,126.800	1.549.000	34.675.800	3 56	3.155	39.200	
Tolhuys Amont	25.124.700	830.000	25.954.700	3.56	3.155	29.400	
Thielrode	15.268.700	732.000	16.000.700	3.44	1.690	32.600	31.730
Durme Aval	14.400.000	732.000	15.132.000	3.42	1.556	33.300	
Durme Amont	11.258.700	695.000	11.953.700	3.42	1.556	26.300	
Baesrode	6.071.600	617.000	6.688.600	3.02	771	26.200	27.200
Termonde	3.398.900	454.000	3.852.900	2.60	353	28.400	
Wetteren	371.700	319.000	690.700	1.53	37,5	27.900	

Les tableaux XI à XIV montrent que la loi des débits s'applique également aux marées de forte amplitude, et qu'elle se retrouve pour le second flot de la marée de faible amplitude en amont du Rupel. La vérification de la loi ne se fait pas d'une manière aussi complète pour le premier flot de la marée de faible amplitude du 8-9 octobre 1890 et pour le second flot de la même marée en aval du Rupel. Cela provient de ce que les marées envisagées ne sont pas des marées moyennes normales de l'amplitude considérée, mais sont des marées isolées dont les caractères essentiels ont été altérés par des phénomènes autres que ceux qui déterminent la propagation de l'onde de translation, comme par exemple : le vent. Voici quelques exemples d'irrégularités et d'anomalies qu'on peut observer dans la propagation des quatre marées considérées Les deux flots de forte amplitude ont sensiblement la même hauteur à l'embouchure : $3^m.93$ et 3^m 94, malgré cela il y a une différence de près de 10 p. c. dans les débits de la marée à l'embouchure devant Flessingue.

L'amplitude du premier flot de la marée du 8 9 avril 1890 est plus grande que celle de la marée moyenne jusque dans le voisinage de Baesrode et plus petite en amont de ce point. Pour le second flot de la même marée, l'amplitude est déjà égale à celle de la marée moyenne à partir d'Anvers et elle y devient plus petite à partir de la Durme.

Quant aux hauteurs des deux flots de la marée de faible amplitude du 8-9 octobre, elles sont plus grandes que celles de la marée moyenne, toutes autres choses étant égales et toute proportion gardée. En effet pour obtenir l'amplitude théorique de la marée du 8-9 octobre en un point du fleuve, il suffit de réduire l'amplitude de la marée moyenne en ce même point dans le rapport de *l'amplitude à l'embouchure de la marée du 8-9 octobre à l'amplitude à l'embouchure pour la marée moyenne.* Or si on fait ce calcul, voici ce que l'on obtient :

Anvers. — Premier flot.

Hauteur théorique : $4{,}57 \times \frac{1.72}{3\ 68} = 2.04$ m.

Hauteur observée : 2,71 m.

Deuxième flot.

Hauteur théorique : $4\ 73 \times \frac{2{,}73}{3{,}68} = 3{,}24$ m.

Hauteur observée : 3,58 m.

Termonde. — Premier flot.

Hauteur théorique : $2,76 \times \frac{1,72}{3,68} = 1,29$ m.

Hauteur observée : 2,28 m.

Deuxième flot.

Hauteur théorique : $2.76 \times \frac{2\ 73}{3,68} = 2,05$ m.

Hauteur observée : 2,60 m.

Il n'est donc pas étonnant que la vérification de la loi des débits ne se fasse pas aussi rigoureusement que pour la marée moyenne résultant d'une longue série d'observations, mais eu égard aux résultats obtenus nous pouvons admettre que la loi des débits est applicable à toute marée moyenne normale de l'amplitude considérée

Nous avons vu par l'étude théorique de la loi des débits que la constante C en un point du fleuve est égale à une quantité Γ multipliée par le carré de la hauteur de l'onde. Nous avons dit en même temps que Γ est une constante en chaque point du fleuve, mais qu'elle varie d'un point à l'autre de celui-ci. Procédons à la vérification de cette propriété en nous plaçant à l'embouchure et aux points principaux de l'Escaut.

Tableau 15.

Stations.	Marée moyenne.		Marée du 8-9 avril 1890. 1er Flot.		Marée du 8-9 avril 1890. 2e Flot.		Marée du 8-9 octobre 1890. 1er Flot.		Marée du 8-9 octobre 1890. 2e Flot.	
	h^2	Γ	h^2	Γ	h^2	Γ	h^2	Γ	h^2	Γ
Flessingue	13,55	3720	15,45	4170	15,52	3760	2,96	4240	7,45	3790
Terneuzen	15,52	3185	18,35	3490	17,22	3320	4,12	3460	9,12	3230
Hansweert	17,29	2860	19,80	3250	18,02	3090	5,07	2990	10,63	2820
Bath	19,42	2370	23,55	2715	21,70	2514	6,10	2510	12,05	2340
Lillo	19,80	2380	23,85	2460	21,18	2360	6,72	2600	12,66	2480
Fort Philippe	19,42	2440	23,65	2450	20,20	2430	6,86	2720	13,32	2480
Anvers	19,41	2545	23,85	2540	19,42	2543	7,34	2790	12,82	2640
Hemixem	18,55	2820	21,10	3100	17,90	2960	7,45	3140	12,68	2940
Thielrode	15,94	2600	18,07	2825	14,99	2800	7,24	2860	11,85	2750
Baesrode	11,30	2635	13,49	2620	11,30	2550	6,00	2910	9,12	2875
Termonde	7,62	3990	6,76	4560	6,14	4200	5,20	4080	6,76	4200
Wetteren	2,46	12930	2,62	13510	1,54	14400	1,69	14000	2,34	11920

Il résulte du tableau XV ci-dessus que la propriété se vérifie d'une manière très satisfaisante pour les différents points considérés. A l'embouchure devant Flessingue, la quantité Γ a une valeur comprise entre 3720 et 3790 pour trois marées et une valeur plus grande que 4100 pour deux autres. Parmi ces deux dernières marées il y en a une : le premier flot de la marée de faible amplitude du 8-9 octobre 1890, qui a un caractère tout à fait anormal et une autre : le premier flot de la marée de forte amplitude du 8-9 avril 1890, qui a un débit de marée dépassant celui du flot suivant de près de 10 p. c., alors que les deux marées ont sensiblement même hauteur totale. Il ne faut donc pas attacher une valeur trop absolue aux résultats que donne l'étude de ces deux marées, mais il faut considérer de préférence ceux qui se rapportent aux trois autres marées d'allure plus régulière, dont il y en a une moyenne, résultant d'une longue série d'observations. C'est en nous laissant guider par ces considérations et aussi en tenant compte de ce qui se passe aux autres points de l'Escaut que nous avons pu attribuer à Γ la valeur 3860.

Nous donnons ci-dessous, à titre de vérification et aussi afin de pouvoir mieux se rendre compte de la valeur pratique de la loi des débits, les volumes de remplissage pour la marée moyenne, calculés d'après les formules théoriques.

Tableau 16.

SECTION FLESSINGUE-RUPEL.

Valeur de la constante $C = 3860 \times 3{,}68^2 = 52300$.

Stations.	Volumes de remplissage	
	calculés par la théorie.	établis par cubature.
	m³	m³
Flessingue	1.222.000.000	1.179.074.300
Terneuzen	797.000.000	753.000.000
Hansweert	514.000.000	483.886.000
Bath	216.000.000	189.118.800
Lillo	104.600.000	94.300.300
Fort Philippe	83.500.000	75.790.500
Anvers	65.700.000	61.076.900
Hemixem	43.291.300	43.291.300
Tolhuys aval Rupel	39.300.000	40.004.400

SECTION RUPEL-DURME.

$$\text{Valeur de la constante } C' = 52300 \times \frac{3155}{3155 + 1120} = 38700.$$

(3155 et 1120 mètres carrés sont les sections d'égale vitesse de l'Escaut et du Rupel au droit de l'embouchure du Rupel.)

Stations.	Volumes de remplissage	
	calculés par la théorie.	établis par cubature.
	m³	m³
Tolhuys amont Rupel	29.050.000	29.520.940
Thielrode	16.410.000	17.575.760
Aval Durme	15.210.000	16.032.000

SECTION DURME-GAND.

$$\text{Valeur de la constante } C' = 38700 \times \frac{1556}{1556 + 456{,}5} = 29900.$$

(1556 mètres carrés et 456,5 sont les sections d'égale vitesse de l'Escaut et de la Durme au droit de l'embouchure de la Durme).

Stations.	Volumes de remplissage	
	calculés par la théorie.	établis par cubature.
	m³	m³
Amont Durme	11.750.000	12.855.000
Baesrode	6.850.000	6.841.000
Termonde	3.830.000	3.883.960
Wetteren	714.000	758.355

Considérations particulières. — Nous avons calculé plus haut (loi de l'amplitude) la hauteur de l'onde fluviale dans le cas où l'on réaliserait la section d'égale vitesse à Bath. Il peut être intéressant de connaître dans cette même hypothèse le nouveau volume de la marée. La loi des débits permet de résoudre ce problème.

$$(F + A)\ 7^{m},23 = 52300 \times 18172$$

soit $$F + A = 131.500.000\ m^3,$$

au lieu de 216.000.000 mètres cubes qui est le volume théorique de la marée passant actuellement par Bath.

La réalisation de la section d'égale vitesse aurait donc pour conséquence de réduire considérablement le débit de flot à Bath. Cette réduction du volume de la marée signifie-t-elle que l'entretien du fleuve se ferait dans des conditions moins favorables qu'actuellement? Nullement, car si la nouvelle onde fluviale serait moins volumineuse, sa masse fluide serait animée d'une plus grande vitesse, de sorte que l'énergie totale, dont dépend l'entretien du fleuve n'aurait pas changé théoriquement. Théoriquement on peut même concevoir que le volume de flot à Bath soit le même qu'à Lillo, il suffirait pour cela que l'onde marée s'affaisse suffisamment en passant de Bath à Lillo. Dans ce cas, le lieu géométrique des étales de flot correspondrait avec celui des étales de jusant pour toute la partie comprise entre Bath et Lillo, de sorte que le volume d'eau compris entre les deux lieux géométriques des étales qui, d'après la belle démonstration due à M. l'Ingénieur en chef Van Brabandt, représente le volume de flot qui se loge entre Bath et Lillo, serait bien égal à zéro.

Si on poussait l'affaissement de l'onde marée encore plus loin, on pourrait concevoir que le lieu géométrique des étales de flot passât en-dessous de celui des étales de jusant, de sorte que le volume d'eau compris entre les deux lieux géométriques deviendrait négatif. Dans ce cas, le volume de flot à Lillo, serait plus grand qu'à Bath.

Tout ceci montre que le volume d'eau amené par la marée n'est pas tout dans un fleuve maritime ; c'est l'énergie de l'onde fluviale qui importe: et volume et vitesse, car, c'est de cet élément là que dépend le degré de viabilité du fleuve.

§ 4. — **Niveau moyen du fleuve.**

Dans les calculs de vérification donnés ci-après nous avons opéré sur des tronçons du fleuve suffisamment courts pour que

nous puissions substituer, sans commettre d'erreurs pratiquement appréciables, aux lois de variation vraies de la hauteur de la marée, de la profondeur et de la largeur du fleuve, ainsi que du débit supérieur des lois exponentielles ; en opérant ainsi nous pouvons appliquer les formules 62, 63 et 64.

Relèvement dû au phénomène de la marée.

Flessingue-Terneuzen.

Amplitude à Flessingue : $3^{m},68$; à Terneuzen : $3^{m},94$.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h = 3,68\ e^{0,0037x}.$$

Profondeur moyenne à mi-marée à Flessingue : 13 mètres ; à Terneuzen : $10^{m},80$.

Loi de variation de la profondeur moyenne à mi-marée :

$$\lambda = 13\ e^{-0,01003x}.$$

Largeur de la rivière à Flessingue : 5795 mètres ; à Terneuzen : 4940 mètres.

Valeur moyenne du coefficient : $\dfrac{l}{l + 2\lambda}$

$$\left[\frac{5795}{5795 + 2 \times 13} + \frac{4940}{4940 + 2 \times 10.8}\right] : 2 = \left[0.996 + 0,997\right] : 2 = 0,9965.$$

Valeur moyenne de coefficient b :

$$b = 0,28\left(1 + \frac{1,25}{0.996 \times 13}\right) = 0,307$$

$$b = 0,28\left(1 + \frac{1.25}{0,997 \times 10,8}\right) = 0,313$$

Valeur moyenne : 0,620 : 2 = 0,31.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0,31 \times 0.093 \times 3,68^2 \times e^{2 \times 0,0037x}}{0,9965 \times 13^{5/2} \times e^{-5/2 \times 0,01003x}}\,dx.$$

Relèvement total à Terneuzen :

$$\zeta_m = \frac{0.31 \times 0,093}{0,9965 \times 0,0325} \times \frac{13,55}{605,4}\left(e^{0,0325 \times 18,5} - 1\right) = 0^{m},016.$$

Terneuzen-Hansweert.

Amplitude à Terneuzen : $3^{m},94$; à Hansweert : $4^{m},16$.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h = 3,94 e^{0,00355x}.$$

Profondeur moyenne à mi-marée à Terneuzen : $10^m,80$; à Hansweert : $8^m,98$.

Loi de variation de la profondeur moyenne à mi-marée :

$$\lambda = 10{,}8e^{-0{,}01208x} .$$

Largeur de la rivière à Terneuzen : 4940 mètres ; à Hansweert : 4250 mètres.

Valeur moyenne du coefficient $\frac{l}{l+2\lambda}$:

$$\left[\frac{4940}{4940 + 2 \times 10{,}8} + \frac{4250}{4250 + 2 \times 8{,}98}\right] : 2 = \left[0{,}997 + 0{,}995\right] : 2 = 0{,}996.$$

Valeur moyenne du coefficient b :

$$b = 0{,}28\left(1 + \frac{1{,}25}{0{,}997 \times 10{,}8}\right) = 0{,}313$$

$$b = 0{,}28\left(1 + \frac{1{,}25}{0{,}995 \times 8{,}98}\right) = 0{,}319$$

Valeur moyenne : $0{,}632 : 2 = 0{,}316$.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0.316 \times 0{,}093 \times 5{,}94^2 \times e^{2 \times 0{,}00355x}}{0.996 \times 10.8^{5/2} \times e^{-5/2 \times 0{,}01208x}} dx .$$

Relèvement total à Hansweert :

$$\zeta_m = \frac{0.316 \times 0.093}{0{,}996 \times 0.0388} \times \frac{15{,}52}{384{,}60}\left(e^{0{,}0388 \times 15{,}3} - 1\right) = 0^m{,}025.$$

Hansweert-Bath.

Amplitude à Hansweert : $4^m,16$; à Bath : $4^m,41$.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h = 4{,}16e^{0{,}00363x} .$$

Profondeur moyenne à mi-marée à Hansweert : $8^m,98$; à 4 km. 1 en amont de Hansweert : $8^m,50$; à 2 kilomètres en aval de Bath : $4^m,5$; à Bath : $4^m,5$.

Largeur à mi-marée à Hansweert : 4250 mètres ; à Bath : 6015 mètres.

Valeur du coefficient $\frac{l}{l + 2\lambda}$ à :

$$\text{Hansweert} : \frac{4250}{4250 + 2 \times 8{,}98} = 0{,}995$$

$$\text{Bath} : \frac{6015}{6015 + 2 \times 4{,}50} = 0{,}997$$

Valeur moyenne : $1{,}992 : 2 = 0{,}996$.

Première Section : Hansweert-4 km. 1 amont Hansweert.

Loi de variation de la profondeur moyenne à mi-marée :

$$\lambda = 8{,}98e^{-0{,}134x} .$$

Valeur moyenne du coefficient b :

$$b = 0{,}28\left(1 + \frac{1.25}{0{,}996 \times 8{,}98}\right) = 0{,}319$$

$$b = 0{,}28\left(1 + \frac{1{,}25}{0{,}996 \times 8{,}5}\right) = 0{,}321$$

Valeur moyenne : $0{,}640 : 2 = 0{,}320$.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0{,}32 \times 0{,}093 \times 4.16^2 \times e^{2 \times 0{,}00363x}}{0.996 \times 8{,}98^{5/2} \times e^{-5/2 \times 0{,}0134x}} dx.$$

Relèvement total à 4 km. 1 en amont de Hansweert :

$$\zeta_m = \frac{0{,}32 \times 0.093}{0{,}996 \times 0.0408} \times \frac{17{,}30}{240}\left(e^{0{,}0408 \times 4{,}1} - 1\right) = 0^m{,}01.$$

2e Section : 4 km. 1 amont Hansweert-2 kilom. aval Bath.

Amplitude à 4 km. 1 en amont de Hansweert :

$$h = 4{,}16e^{0{,}00363 \times 4{,}1} = 4^m{,}22.$$

Loi de variation de la profondeur moyenne à mi-marée :

$$\lambda = 8{,}50e^{-0{,}0636x} .$$

Valeur moyenne du coefficient b :

$$b = 0{,}28\left(1 + \frac{1{,}25}{0{,}996 \times 8{,}5}\right) = 0{,}321$$

$$b = 0.28\left(1 + \frac{1{,}25}{0{,}996 \times 4{,}5}\right) = 0{,}359$$

Valeur moyenne : $0{,}680 : 2 = 0{,}340$.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0{,}34 \times 0{,}093 \times 4.22^2 \times e^{2 \times 0{,}00363x}}{8{,}5^{5/2} \times e^{-5/2 \times 0{,}0636x} \times 0{,}996} dx.$$

Relèvement total à 2 kilomètres en aval de Bath :

$$\zeta_m = \frac{0{,}34 \times 0{,}093}{0{,}996 \times 0{,}1664} \times \frac{17{,}81}{209.4}\left(e^{0{,}1664 \times 10} - 1\right) = 0^m{,}07.$$

3e Section : 2 kilomètres aval Bath-Bath.

Amplitude à 2 kilomètres en aval de Bath :

$$h = 4{,}16\ e^{0{,}00363 \times 14{,}1} = 4^m{,}38,$$

Profondeur moyenne à mi-marée constante : $4^m,5$.
Valeur du coefficient b :

$$b = 0,28\left(1 + \frac{1.25}{0.996 \times 4,5}\right) = 0,359.$$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0,359 \times 0.093 \times \overline{4.38}^2 \times e^{2 \times 0,00363x}}{0,996 \times 4,5^{5/2}}\, dx.$$

Relèvement total à Bath :

$$\zeta_m = \frac{0,359 \times 0,093}{0,996 \times 0,00726} \times \frac{19,20}{42,86}\left(e^{0,00726 \times 2} - 1\right) = 0^m,031.$$

Relèvement total de la section Hansweert-Bath :

$$\zeta_m = 0,01 + 0,07 + 0,031 = 0^m,111.$$

Bath-Lillo.

Amplitude à Bath : $4^m,41$; à Lillo : $4^m,45$.
Loi de variation de l'amplitude :

$$h = 4,41\, e^{0,00082x}.$$

Profondeur moyenne à mi-marée à Bath : $4^m,5$; à 5 kilomètres en amont de Bath : $4^m,5$; à 1 kilomètre en aval de Lillo : $8^m,03$; à Lillo : $8^m,03$.
Largeur à mi-marée à Bath : 6015 mètres ; à Lillo : 827 mètres.

Valeur du coefficient $\frac{l}{l + 2\lambda}$ à :

Bath : $\frac{6015}{6015 + 2 \times 4,50} = 0,997,$

illo : $\frac{827}{827 + 2 \times 8,03} = 0,981.$

En répartissant la différence entre les deux valeurs ci-dessus proportionnellement aux distances, nous obtenons comme valeur du coefficient $\frac{l}{l + 2\lambda}$ à :

5 kilomètres en amont de Bath . . . . 0,99.
1 kilomètre en aval de Lillo . . . . 0,982.

Première Section : Bath — 5 kilomètres en amont de Bath.
Profondeur moyenne à mi-marée constante : $4^m,5$.

Valeur moyenne du coefficient $\frac{l}{l + 2\lambda} : \frac{0,997 + 0.99}{2} = 0,9935.$

Valeur du coefficient b :

$$b = 0,28\left(1 + \frac{1,25}{0,9935 \times 4,5}\right) = 0,358.$$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0.358 \times 0.093 \times \overline{4.41}^2 \times e^{2 \times 0,00082x}}{0.9935 \times 4,5^{5/2}}\, dx.$$

Relèvement total à 5 kilomètres en amont de Bath :

$$\zeta_m = \frac{0\ 358 \times 0,093}{0,9935 \times 0,00164} \times \frac{19.4}{42,86}\left(e^{0,00164 \times 5} - 1\right) = 0^m,073.$$

2e Section : 5 kilomètres amont Bath — 1 kilomètre aval Lillo.
Amplitude à 5 kilomètres amont Bath :

$$h = 4,41\, e^{0,00082 \times 5} = 4^m,43.$$

Loi de variation de la profondeur moyenne à mi-marée :

$$\lambda = 4,50\, e^{0,116x}.$$

Valeur moyenne du coefficient $\frac{l}{l+2\lambda} : \frac{0,99 + 0,982}{2} = 0,986.$

Valeur moyenne du coefficient b :

$$b = 0,28\left(1 + \frac{1,25}{0.99 \times 4.5}\right) = 0,359$$

$$b = 0,28\left(1 + \frac{1.25}{0,982 \times 8,03}\right) = 0,324$$

Valeur moyenne : $0.683 : 2 = 0,3415$.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0,3415 \times 0,093 \times \overline{4\ 43}^2 \times e^{2 \times 0,00082x}}{0,986 \times 4,5^{5/2} \times e^{5/2 \times 0,116x}}\, dx.$$

Relèvement total à 1 kilomètre en aval de Lillo :

$$\zeta_m = \frac{0.3415 \times 0\ 093}{0,986 \times 0,28836} \times \frac{19,65}{42,86}\left(1 - e^{-0,28836 \times 5}\right)$$

$\zeta_m = 0^m,039.$

3e Section : un kilomètre aval Lillo-Lillo.
Amplitude à un kilomètre en aval de Lillo :

$$h = 4,41\, e^{0,00082 \times 10} = 4^m,45.$$

Profondeur moyenne à mi-marée constante : $8^m,03$.

Valeur moyenne du coefficient :

$$\frac{l}{l+2\lambda}=\frac{0{,}982+0{,}981}{2}=0{,}9815.$$

Valeur moyenne du coefficient b :

$$b=0{,}28\left(1+\frac{1{,}25}{0{,}9815\times 8{,}03}\right)=0{,}324.$$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m=\frac{0{,}324\times 0{,}093\times \overline{4{,}45}^2\times e^{2\times 0{,}00082x}}{0{,}9815\times 8{,}03^{5/2}}\,dx.$$

Relèvement total à Lillo :

$$\zeta_m=\frac{0{,}324\times 0{,}093}{0{,}9815\times 0{,}00164}\times\frac{19{,}8}{183{,}70}\left(e^{0{,}00164\times 1}-1\right)=0{,}003.$$

Relèvement total sur la section Bath-Lillo :

$\zeta_m=0^m,073+0{,}039+0{,}003=0^m,115.$

Lillo-Fort Philippe.

Amplitude à Lillo : $4^m,45$; à Fort Philippe : $4^m,41$.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h=4{,}45e^{-0{,}00136x}.$$

Profondeur moyenne à mi-marée constante : $8^m,03$.

Largeur de la rivière à Lillo : 827 mètres; à Fort Philippe : 654 mètres.

Valeur moyenne du coefficient $\frac{l}{l+2\lambda}$:

$$\left[\frac{827}{827+2\times 8{,}03}+\frac{654}{654+2\times 8{,}03}\right]:2=\left[0{,}981+0{,}977\right]:2=0{,}979.$$

Valeur moyenne du coefficient b :

$$b=0{,}28\left(1+\frac{1{,}25}{0{,}979\times 8{,}03}\right)=0{,}3245.$$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m=\frac{0{,}3245\times 0{,}093\times \overline{4{,}45}^2\times e^{-2\times 0{,}00136x}}{0{,}979\times 8{,}03^{5/2}}\,dx.$$

Relèvement total à Fort Philippe :

$$\zeta_m=\frac{0{,}3245\times 0{,}093}{0{,}979\times 0{,}00272}\times\frac{19{,}80}{183{,}70}\left(1-e^{-0{,}00272\times 6{,}65}\right)=0^m,022.$$

Fort Philippe. — Anvers.

Amplitude à Fort Philippe : $4^m,41$; à Anvers : $4^m,37$.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h=4{,}41e^{-0{,}00127x}$$

Profondeur moyenne à mi-marée constante : $8^m,03$.

Largeur de la rivière à Fort Philippe : 654 mètres; à Anvers : 459 mètres.

Valeur moyenne du coefficient $\frac{l}{l+2\lambda}$:

$$\left[\frac{654}{654+2\times 8{,}03}+\frac{459}{459+2\times 8{,}03}\right]:2$$

$$=\left[0{,}977+0{,}967\right]:2=0{,}972.$$

Valeur moyenne du coefficient b :

$$b=0{,}28\left(1+\frac{1{,}25}{0{,}972\times 8{,}03}\right)=0{,}325.$$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m=\frac{0{,}325\times 0{,}093\times \overline{4{,}41}^2\times e^{-2\times 0{,}00127x}}{0{,}972\times 8{,}03^{5/2}}\,dx.$$

Relèvement total à Anvers :

$$=\frac{0{,}325\times 0{,}093}{0{,}972\times 0{,}00254}\times\frac{19{,}4}{183{,}70}\left(1-e^{-0{,}00254\times 7{,}2}\right)$$

$\zeta_m=0^m,024.$

Anvers-Hemixem.

Amplitude à Anvers : $4^m,37$; à Hemixem : $4^m,31$.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h=4{,}37e^{-0{,}00112x}.$$

Profondeur moyenne à mi-marée constante : $8^m,03$.

Largeur de la rivière à Anvers : 459 mètres ; à Hemixem : 325 mètres.

Valeur moyenne du coefficient $\frac{l}{l+2\lambda}$:

$$\left[\frac{459}{459+2\times 8{,}03}+\frac{325}{325+2\times 8{,}03}\right]:2$$

$$\left[0{,}967+0{,}952\right]:2=0{,}960.$$

Valeur moyenne du coefficient b :

$$b=0{,}28\left(1+\frac{1{,}25}{0{,}96\times 8{,}03}\right)=0{,}3255.$$

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0.3255 \times 0,093 \times 4.37^2 \times e^{-2 \times 0,00112x}}{0,96 \times 8,03^{5/2}} dx.$$

Relèvement total à Hemixem :

$$\zeta_m = \frac{0.3255 \times 0\ 093}{0,96 \times 0,00224} \times \frac{19,10}{183\ 70}\left(1 - e^{-0,00224 \times 12,375}\right)$$

$\zeta_m = 0^m,041.$

Hemixem-Rupel.

Amplitude à Hemixem : $4^m,31$; au Rupel : $4^m,20$.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h = 4,31 e^{-0,00982x}.$$

Profondeur moyenne à mi-marée à Hemixem : $8^m,03$.

Au Rupel : $5^m.40$.

Loi de variation de la profondeur moyenne à mi-marée :

$$\lambda = 8,03\ e^{-0,151x}.$$

Largeur de la rivière à Hemixem : 325 mètres; au Rupel : 411 mètres.

Valeur moyenne du coefficient : $\frac{l}{l+2\lambda}$:

$$\left[\frac{325}{325+2\times 8,03}+\frac{411}{411+2\times 5,4}\right]:2=\left[0,952+0,972\right]:2=0,962.$$

Valeur moyenne du coefficient b :

$$b = 0,28\left(1 + \frac{1\ 25}{0,952 \times 8,03}\right) = 0,326$$

$$b = 0,28\left(1 + \frac{1,25}{0,972 \times 5,4}\right) = 0,346$$

Valeur moyenne : 0,672 : 2 = 0,336.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0,336 \times 0.093 \times 4,31^2 \times e^{-2 \times 0,00982x}}{0,962 \times 8,03^{5/2} \times e^{-5/2 \times 0,151x}} dx$$

Relèvement total du Rupel :

$$\zeta_m = \frac{0.336 \times 0.093}{0\ 962 \times 0,35836} \times \frac{18,55}{183,70}\left(e^{0,35836 \times 2,625} - 1\right)$$

$z_m = 0^m,014.$

Rupel-Durme :

Amplitude au Rupel : $4^m.20$; à la Durme : $3^m,96$.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h = 4,2\ e^{-0,0056x}.$$

Profondeur moyenne à mi-marée au Rupel : $5^m.40$; à la Durme : 5 mètres.

Loi de variation de la profondeur moyenne à mi-marée :

$$\lambda = 5,4\ e^{-0,00732x}.$$

Largeur de la rivière au Rupel : 411 mètres; à la Durme : 223 mètres.

Valeur moyenne du coefficient $\frac{l}{l+2\lambda}$:

$$\left[\frac{411}{411+2\times 5.4}+\frac{223}{223+2\times 5}\right]:2=\left(0,972+0,966\right):2=0,969.$$

Valeur moyenne du coefficient b :

$$b = 0,28\left(1 + \frac{1.25}{0\ 972 \times 5\ 4}\right) = 0\ 346$$

$$b = 0,28\left(1 + \frac{1,25}{0,966 \times 5,0}\right) = 0,353$$

Valeur moyenne : 0,699 : 2 = 0,3495.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0.3495 \times 0.093 \times 4,20^2 \times e^{-2 \times 0,0056x}}{0.969 \times 5,4^{5/2} \times e^{-5/2 \times 0,00732x}} dx.$$

Relèvement total à la Durme :

$$\zeta_m = \frac{0.3495 \times 0\ 093}{0.969 \times 0,0071} \times \frac{17.65}{68.08}\left(e^{0,0071 \times 10,5} - 1\right) = 0.094.$$

Durme-Baesrode.

Amplitude à la Durme : $3^m.96$; à Baesrode : $3^m.36$.

Loi de variation de l'amplitude :

$$h = 3,96 \times e^{-0,0185x}$$

Profondeur moyenne à mi-marée à la Durme : 5 mètres ; à Baesrode : $4^m.30$.

Loi de variation de la profondeur moyenne à mi-marée :

$$\lambda = 5^m,00\ e^{-0,017x}.$$

Largeur de la rivière à la Durme : 223 mètres ; à Baesrode : 187 mètres.

Valeur moyenne du coefficient $\frac{l}{l + 2\lambda}$:

$$\left[\frac{223}{223 + 2 \times 5{,}0} + \frac{187}{187 + 2 \times 4.3}\right] : 2 = \left(0.966 + 0{,}956\right) : 2 = 0{,}961.$$

Valeur moyenne du coefficient b :

$$b = 0.28\left(1 + \frac{1{,}25}{0.966 \times 5{,}00}\right) = 0{,}353$$

$$b = 0{,}28\left(1 + \frac{1.25}{0{,}956 \times 4{,}3}\right) = 0{,}365$$

Valeur moyenne : 0,359

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_m = \frac{0.359 \times 0{,}093 \times 5{,}96^2 \times e^{-2 \times 0{,}0185x}}{0{,}961 \times 5^{5/2} \times e^{-5/2 \times 0{,}017x}} \times dx.$$

Relèvement total à Baesrode :

$$z_m = \frac{0{,}359 \times 0{,}093}{0{,}961 \times 0{,}0056} \times \frac{15.69}{56{,}10}\left(e^{0{,}0056 \times 8{,}87} - 1\right) = 0^m{,}089.$$

Baesrode-Termonde :

Amplitude de la marée à Baesrode : $3^m{,}36$; à Termonde : $2^m{,}76$.

Loi de variation de l'amplitude de la marée :

$$h = 3{,}36\ e^{-0{,}01833x}.$$

Profondeur moyenne à mi-marée à Baesrode : $4^m{,}3$; à 4 kilomètres en amont de Baesrode : $5^m{,}4$; à Termonde : $4^m{,}6$.

Largeur à mi-marée à Baesrode : 187 mètres ; à Termonde : 104 mètres.

Valeur du coefficient $\frac{l}{l + 2\lambda}$ à :

Baesrode : $\frac{187}{187 + 2 \times 4{,}3} = 0{,}955.$

Termonde : $\frac{104}{104 + 2 \times 4{,}6} = 0{,}917.$

En répartissant la différence entre les deux valeurs ci-dessus proportionnellement à la distance, la valeur du coefficient $\frac{l}{l + 2\lambda}$ à 4 kilomètres en amont de Baesrode est de : 0,941.

Première Section : Baesrode-4 kilom. en amont Baesrode.

Loi de variation de la profondeur moyenne à mi-marée :

$$\lambda = 4{,}3e^{0{,}057x}.$$

Valeur moyenne du coefficient $\frac{l}{l + 2\lambda}$:

$$\left(0{,}955 + 0{,}941\right) : 2 = 0{,}948.$$

Valeur moyenne du coefficient b :

$$b = 0{,}28\left(1 + \frac{1{,}25}{0{,}955 \times 4{,}3}\right) = 0{,}365$$

$$b = 0{,}28\left(1 + \frac{1.25}{0{,}941 \times 5{,}4}\right) = 0{,}349$$

Valeur moyenne : 0,714 : 2 = 0,357.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_m = \frac{0.357 \times 0{,}093 \times 5{,}36^2 \times e^{-2 \times 0{,}01833x}}{0{,}948 \times 4{,}3^{5/2}\ e^{5/2 \times 0{,}057x}}\ dx.$$

Relèvement total à 4 kilometres en amont de Baesrode :

$$= \frac{0.357 \times 0.093}{0.948 \times 0{,}1792} \times \frac{11{,}3}{58{,}57}\left(1 - e^{-0{,}1792 \times 4}\right) = 0{,}029.$$

2^e Section : 4 kilomètres en amont Baesrode-Termonde.

Loi de variation de la profondeur à mi-marée :

$$\lambda = 5{,}4e^{-0{,}0238x}.$$

Amplitude de la marée à 4 kilom. en amont de Baesrode.

$$h = 3{,}36e^{-0{,}01833 \times 4} = 3^m{,}12.$$

Valeur moyenne du coefficient $\frac{l}{l + 2\lambda}$:

$$\left(0{,}941 + 0{,}917\right) : 2 = 0{,}929.$$

Valeur moyenne du coefficient b :

$$b = 0{,}28\left(1 + \frac{1.25}{0{,}941 \times 5.4}\right) = 0{,}349$$

$$b = 0{,}28\left(1 + \frac{1{,}25}{0{,}917 \times 4{,}6}\right) = 0{,}363$$

Valeur moyenne : 0,712 : 2 = 0,356.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_m = \frac{0{,}356 \times 0.093 \times 5{,}12^2 \times e^{-2 \times 0\ 01833x}}{0{,}929 \times 5{,}4^{5/2} e^{-5/2 \times 0{,}0288x}}\ dx.$$

Relèvement total à Termonde :

$$\zeta_m = \frac{0.556 \times 0.093}{0.929 \times 0.0228} \times \frac{9.73}{68,08}\left(e^{0,0228 \times 6,75} - 1\right) = 0,038.$$

Relèvement total du niveau moyen entre Baesrode et Termonde :

$$\zeta_m = 0^m,029 + 0,038 = 0^m,067.$$

Termonde-Wetteren :

Amplitude de la marée à Termonde : $2^m,76$; à Wetteren : $1^m,57$.

Loi de variation de l'amplitude de la marée :

$$h = 2,76e^{-0,0246x}.$$

Profondeur moyenne à mi-marée à Termonde : $4^m,60$; à Wetteren : $3^m,51$.

Loi de variation de la profondeur moyenne à mi-marée :

$$\lambda = 4,6e^{-0,0118x}.$$

Largeur de la rivière à Termonde : 104 mètres; à Wetteren $43^m,4$.

Valeur moyenne du coefficient $\dfrac{l}{l + 2\lambda}$:

$$\left[\frac{104}{104 + 2 \times 4,6} + \frac{43.4}{43.4 + 2 \times 3,51}\right] : 2$$

$$= (0,917 + 0,861) : 2 = 0,889.$$

Valeur moyenne du coefficient b :

$$b = 0,28\left(1 + \frac{1.25}{0,917 \times 4,6}\right) = 0,363$$

$$b = 0,28\left(1 + \frac{1,25}{0,861 \times 3\ 51}\right) = 0,395$$

Valeur moyenne : 0,758 . 2 = 0,379.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0\ 379 \times 0,093 \times 2.\overline{76}^2 \times e^{-2 \times 0,0246x} \times dx}{0.889 \times 4,6^{5/2} \times e^{-5/2 \times 0,0118x}}.$$

Relèvement total à Wetteren :

$$\zeta_m = \frac{0.379 \times 0,093}{0.889 \times 0,0197} \times \frac{7,62}{45,5}\left(1 - e^{-0.0197 \times 22,96}\right) = 0^m,122.$$

Wetteren-Gand :

Amplitude de la marée à Wetteren : $1^m,57$; à Gand : $1^m,42$.

Loi de variation de l'amplitude de la marée :

$$h = 1,57 \times e^{-0,00682x}.$$

Profondeur moyenne à mi-marée à Wetteren : $3^m,51$; à Gand : $2^m,80$.

Loi de variation de la profondeur moyenne à mi-marée :

$$\lambda = 3,51e^{-0,01537x}.$$

Largeur de la rivière à Wetteren : $43^m,4$; à Gand : $30^m,90$.

Valeur moyenne du coefficient $\dfrac{l}{l + 2\lambda}$:

$$b = 0,28\left(1 + \frac{1.25}{0,861 \times 3,51}\right) = 0,395$$

$$b = 0,28\left(1 + \frac{1.25}{0\ 845 \times 2,8}\right) = 0,427$$

Valeur moyenne : 0,822 : 2 = 0,411.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$d\zeta_m = \frac{0,411 \times 0,093 \times 1,\overline{57}^2 \times e^{-2 \times 0,00682x}}{0,853 \times 3,51^{5/2} \times e^{-5/2 \times 0,01537x}} dx.$$

Relèvement total à Gand :

$$\zeta_m = \frac{0,411 \times 0,093}{0\ 853 \times 0,0248} \times \frac{2.46}{13,69}\left(e^{0,0248 \times 14.73} - 1\right)$$

$$\zeta_m = 0,143 \text{ m}.$$

Tableau 17

Tableau récapitulatif des relèvements du niveau de mi-marée sous l'action de la marée seule.

STATIONS	Relèvements partiels	Relèvements totaux
		—
	m.	
Flessingue		
	0.016	
		m.
Terneuzen		0.016
	0.025	
Hansweert		0.041
	0.111	
Bath		0.152
	0.115	
Lillo		0.267
	0.022	
Fort Philippe		0.289
	0.024	
Anvers		0.313
	0.041	
Hemixem		0.354
	0.014	
Rupel		0.368
	0.094	
Durme		0.462
	0.089	
Baesrode		0.551
	0.067	
Termonde		0.618
	0.122	
Wetteren		0.740
	0.143	
Gand		0.883

RELEVEMENT DU DÉBIT D'AMONT.

Quand on fait le calcul du relèvement du niveau moyen du fleuve sous l'influence du débit supérieur, on constate que ce relèvement est négligeable depuis Flessingue jusque Baesrode par suite de l'existence de grandes sections transversales et de la faible importance du débit d'amont moyen, environ 100 mètres cubes. Ce n'est guère qu'à partir de Baesrode que le relèvement du niveau moyen, sous l'action d'un écoulement d'eaux d'amont, devient appréciable. Nous ne reproduirons donc ici que les calculs relatifs à la section Baesrode-Gand.

M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt évalue le débit d'amont à : Baesrode à $35^{m3},5$; Termonde aval Dendre, $33^{m3},5$; Termonde amont Dendre, $26^{m3},5$; Wetteren, $23^{m3},5$; Gand, 23 mètres cubes. En partant de ces données, on obtient les relèvements ci-dessous :

Baesrode-Termonde :

Débit supérieur à Baesrode : $35^{m3},5$; à Termonde, $33^{m3},5$.

Loi de variation du débit supérieur :

$$q = 35{,}5e^{-0{,}00539x}\,.$$

Débit supérieur à 4 kilomètres en amont de Baesrode :

$$q = 35{,}5e^{-0{,}00539 \times 4} = 34{,}7 \text{ m}^3.$$

Largeur de la rivière à Baesrode : 187 mètres ; à Termonde, 104 mètres.

Loi de variation de la largeur :

$$l = 187e^{-0{,}0547x}\,.$$

Largeur de la rivière à 4 kilomètres en amont de Baesrode :

$$l = 187e^{-0{,}0547 \times 4} = 150 \text{ m}.$$

Pour les autres caractéristiques de la rivière : amplitude de la marée, profondeur moyenne à mi-marée, coefficient $\dfrac{l}{l+2\lambda}$, coefficient b, voir plus haut : relèvement dû au phénomène de la marée.

I^re section : Baesrode — 4 kilomètres en amont Baesrode.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_a = \frac{0{,}357 \times \overline{35{,}5}^2 \times e^{-2 \times 0{,}00539x}}{0{,}948 \times \overline{187}^2 \times e^{-2 \times 0{,}0547x} \times \overline{4{,}3}^{\,3} \times e^{3 \times 0{,}057x}}\,dx\,.$$

Relèvement total à 4 kilomètres amont Baesrode :

$$z_a = \frac{0{,}357}{0{,}948 \times 0{,}07238} \times \frac{1262{,}5}{34950 \times 79{,}5}\left(1 - e^{-0{,}07238 \times 4}\right) = 0^{m}.0006$$

2^e section : 4 kilomètres amont Baesrode-Termonde.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_a = \frac{0.356 \times \overline{34{,}7}^2 \times e^{-2 \times 0{,}00539x} \times dx}{0.929 \times \overline{150}^2 \times e^{-2 \times 0{,}0547x} \times \overline{5.4}^3 \times e^{-3 \times 0{,}0258x}}$$

Relèvement total du niveau moyen à Termonde :

$$z_a = \frac{0{,}356}{0{,}929 \times 0{,}17} \times \frac{1205}{22500 \times 157{,}7}\left(e^{0{,}17 \times 6{,}75} - 1\right) = 0^{m}.0016$$

Relèvement total du niveau moyen entre Baesrode et Termonde :

$$z_a = 0^{m},0006 + 0.0016 = 0^{m},0022$$

Termonde-Wetteren :

Débit supérieur à Termonde : $26^{m^3},3$; à Wetteren $23^{m^3},5$.

Loi de variation du débit supérieur :

$$q = 26,5e^{-0,00523x}$$

Largeur de la rivière à Termonde : 104 mètres ; à Wetteren, $43^{m},4$

Loi de variation de la largeur :

$$l = 104e^{-0,0348x}$$

Pour les autres données voir le calcul du relèvement sous l'action de la marée.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_a = \frac{0,379 \times \overline{26,5}^2 \times e^{-2 \times 0,00523x} \times dx}{0,889 \times \overline{104}^2 \times e^{-2 \times 0,038x} \times \overline{4,6}^3 \times e^{-3 \times 0,0118x}}$$

Relèvement total du niveau moyen à Wetteren :

$$z_a = \frac{0.379}{0.889 \times 0,1009} \times \frac{702,5}{10820 \times 97,3}\left(e^{0,1009 \times 22,96} - 1\right)$$

$$z_a = 0^{m},026$$

Wetteren-Gand :

Débit supérieur à Wetteren : $23^{m^3},5$; à Gand 23 mètres cubes.

Loi de variation du débit supérieur :

$$q = 23,5e^{-0,00146x}$$

Largeur de la rivière à Wetteren : $43^{m},4$; à Gand $30^{m},9$.

Loi de variation de la largeur :

$$l = 43,4e^{-0,023x}$$

Pour les autres données voir le calcul du relèvement du niveau moyen sous l'action de la marée.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_a = \frac{0,411 \times \overline{23,5}^2 \times e^{-2 \times 0,00146x} \times dx}{0,853 \times \overline{43,4}^2 \times e^{-2 \times 0,023x} \times \overline{3,51}^3 \times e^{-3 \times 0,01537x}}$$

Relèvement total du niveau moyen à Gand :

$$z_a = \frac{0,411}{0,853 \times 0,089} \times \frac{552,5}{1890 \times 43,2}\left(e^{0,089 \times 14,73} - 1\right) = 0^{m},098$$

Tableau 18.

Tableau récapitulatif des relèvements du niveau moyen dus à l'action du débit d'amont.

Stations.	Relèvements	
	partiels.	totaux.
Baesrode	m.	m.
Termonde	0.002	0.002
Wetteren.	0.026	0.028
Gand.	0.098	0.126

RELÈVEMENT DÛ A L'ACTION COMBINÉE DE LA MARÉE ET DU DÉBIT D'AMONT.

L'influence du débit d'amont étant négligeable jusqu'à hauteur de Baesrode, nous nous contentons de calculer les termes z_{ma} à partir de cette dernière station.

Baesrode-Termonde.

1re section : Baesrode — 4 kilomètres amont Baesrode.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_{ma} = \frac{0,357 \times 2 \times \sqrt{0.093} \times 3.36 \times e^{-0,01833x} \times 35,5e^{-0,00539x}}{0.948 \times 187e^{-0,0547x} \times 4,3^{11/4} \times e^{11/4 \times 0,057x}}\,dx$$

Relèvement total à 4 kilomètres amont Baesrode :

$$z_{ma} = \frac{0\ 357 \times 2 \times \sqrt{0.093}}{0.948 \times 0,1258} \times \frac{3.36 \times 35,5}{187 \times 55,09}\left(1 - e^{-0,1258 \times 4}\right) = 0^{m},0083$$

2e section : 4 kilomètres amont Baesrode-Termonde.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_{ma} = \frac{0,356 \times 2 \times \sqrt{0\ 093} \times 3,12 \times e^{-0,01833x} \times 34,7e^{-0,00539x}}{0,929 \times 150e^{-0,0547x} \times 5,4^{11/4} \times e^{-11/4 \times 0,0238x}}\,dx.$$

Relèvement total à Termonde :

$$z_{ma} = \frac{0,356 \times 2 \times \sqrt{0,093}}{0,929 \times 0,09643} \times \frac{3,12 \times 34,7}{150 \times 104}\left(e^{-0,09643 \times 6,75} - 1\right)$$

$$z_{ma} = 0^{m},0156.$$

Relèvement total depuis Baesrode jusque Termonde :

$$z_{ma} = 0^{m},0083 + 0,0156 = 0^{m},024.$$

Termonde-Wetteren.

Relèvement élémentaire du niveau moyen :

$$dz_{ma} = \frac{0,379 \times 2 \times \sqrt{0,093} \times 2,76 \times e^{-0,0246x} \times 26.5e^{-0,00523x}}{0,889 \times 104e^{-0,038x} \times 4,6^{11/4} \times e^{-11/4 \times 0,0118x}}\, dx.$$

Relèvement total à Wetteren :

$$z_{ma} = \frac{0,579 \times 2 \times \sqrt{0,093}}{0.889 \times 0,04062} \times \frac{2,76 \times 26.5}{104 \times 66.4}\left(e^{0,04062 \times 22,96} - 1\right)$$

$$z_{ma} = 0,103 \text{ m}.$$

Wetteren-Gand.

Relèvement élémentaire du niveau moyen.

$$dz_{ma} = \frac{0,411 \times 2 \times \sqrt{0,093} \times 1,57 \times e^{-0,00682x} \times 23,5e^{-0,00146x}}{0,853 \times 43,4 \times e^{-0,023x} \times 3,51^{11/4} \times e^{-11/4 \times 0,01537x}}\, dx.$$

Relèvement total du niveau moyen à Gand :

$$z_{ma} = \frac{0,411 \times 2 \times \sqrt{0,093}}{0,853 \times 0,057} \times \frac{1,57 \times 23,5}{43,4 \times 31.63}\left(e^{0,057 \times 14,73} - 1\right)$$

$$z_{ma} = 0,182 \text{ m}.$$

Tableau 19.

Tableau récapitulatif des relèvements du niveau moyen par l'action combinée de la marée et du débit d'amont.

Stations.	Relèvements	
	partiels.	totaux.
	m.	m.
Baesrode		
Termonde	0.024	0.024
Wetteren	0.103	0.127
Gand	0.182	0.309

Tableau 20.

Tableau récapitulatif des relèvements totaux du niveau moyen du fleuve ainsi que les cotes de hauteurs calculées et observées du niveau de mi-marée.

Stations.	Relèvements totaux dus				Cotes de la mi-marée	
	à la marée.	au débit d'amont.	à la marée et au débit d'amont.	à toutes les actions combinées.	calculées.	observées.
1	2	3	4	5	6	7
	m.	m.	m.	m. (1)	m.	m.
Flessingue	0.00	0.000	0.00	0.00	2.19	2.19
Terneuzen	0.016			0.016	2.206	2.20
Hansweert	0.041			0.041	2.231	2.18
Bath	0.152			0.152	2.342	2.335
Lillo	0.267			0.267	2.457	2.455
Fort Philippe	0.289			0.289	2.479	2.485
Anvers	0.313			0.213	2.503	2.555
Hemixem	0.354			0.354	2.544	2.545
Rupel	0.368			0.368	2.558	2.600
Durme	0.462			0.462	2.652	2.645
Baesrode	0.551			0.551	2.741	2.800
Termonde	0.618	0.002	0.024	0.644	2.834	3.090
Wetteren	0.740	0.028	0.127	0.895	3.085	3.260
Gand	0.883	0.126	0.309	1.318	3.508	3.48

Si l'on examine le tableau 20, on voit qu'il y a une concordance très satisfaisante entre les résultats du calcul et les données de l'observation ; ce n'est guère qu'à Wetteren, Termonde, Anvers et Hansweert qu'il y a un écart quelque peu

(1) Les chiffres de la 5e colonne sont obtenus en additionnant les chiffres des colonnes 2, 3 et 4.

important entre la théorie et la pratique. La discordance observée peut difficilement être expliquée autrement que par des erreurs d'observations ou de répérage des échelles de marée; cela est d'autant plus vrai que la discordance remarquée à Hansweert disparaît pour la décade 1901-1910, pour laquelle on a, non pas un abaissement de 0,^{m}01 entre Flessingue et Hansweert, mais un relèvement de 0,^{m}05, ce qui concorde avec les résultats des calculs.

L'étude ci-dessus montre encore que les débits que M. l'Ingénieur en chef Directeur Van Brabandt a déterminés pour l'Escaut doivent se rapprocher de très près de la réalité. Il n'y a guère que le débit moyen de la Dendre qui doive probablement être majoré de 0,5 à 1 mètre cube.

Nous avons vu plus haut que le relèvement du niveau moyen du fleuve doit être plus grand en vive eau qu'en morte eau, ou bien encore, que le niveau de la mi-marée doit être plus haut en sygygie qu'en quadrature. Procédons à la vérification de cette propriété pour l'Escaut maritime.

Tableau 21.

Stations.	Cotes de niveau de la mi-marée.		Relèvement du niveau de la mi-marée.	
	Vive eau.	Morte eau.	Vive eau.	Morte eau.
	m.	m.	m.	m.
Flessingue	2.325	2.07		
Terneuzen	2.33	2.085	0.005	0.015
Hansweert	2.29	2.095	0.035	0.025
Bath	2.50	2.195	0.175	0.125
Lillo	2.53	2.33	0.206	0.26
Fort Philippe	2.565	2.34	0.24	0.27
Anvers	2.64	2.425	0.315	0.355
Hemixem	2.675	2.385	0.35	0.315
Rupel	2.73	2.45	0.405	0.38
Thielrode	2.78	2.45	0.455	0.38
Baesrode	2.965	2.605	0.64	0.535
Termonde	3.235	2.895	0.91	0.825
Wetteren	3.42	3.095	1.095	1.025
Gand	3.61	3.275	1.285	1.205

Le tableau ci-dessus montre que la propriété ne se vérifie pas toujours pour la partie aval du fleuve, où les relèvements du niveau moyen sont faibles et où de petites erreurs d'observation et les actions perturbatrices du mouvement ondulatoire peuvent aisément cacher la propriété. Mais le phénomène se montre nettement à partir d'Anvers, où les surhaussements sont plus importants. La vérification se fait encore sur d'autres fleuves, tels : la Loire, la Seine, la Gironde et la Garonne et même d'une manière plus nette que sur l'Escaut maritime. Considérons pour la Loire : la marée de vive eau du 12 août 1896 et la marée de morte eau du 8 octobre 1896 ; pour la Seine : la marée de vive eau du 20 septembre 1891 et la marée de morte eau du 26 septembre 1891; pour la Gironde et la Garonne, la marée de vive eau du 18-19 septembre 1876 et la marée de morte eau du 26 septembre 1876. Les diagrammes de ces marées sont donnés dans l'ouvrage de M. le baron Quivette de Rochemont, *Cours de travaux maritimes*, planches-annexes.

Tableau 22.

Distances cumulées.	Stations.	Cote de niveau de la mi-marée.		Relèvements totaux de la mi-marée.	
		Vive eau.	Morte eau.	Vive eau.	Morte eau.
	Loire.	m.	m.	m.	m.
0	Saint-Nazaire	2,75	2,50	0,00	0,00
15,2	Paimbœuf	3,37	2,80	0,62	0,30
40	Le Péllerin	4,65	3,76	1,90	1,26
53	Chantenay	5,02	3,84	2,27	1,34
	Seine.				
0	Le Hâvre	4,37	4,95	0,00	0,00
19	Le Risle	5,69	4,85	1,32	– 0,10
43	Aizier	6,37	5,03	2,00	+0,08
55,5	Caudebec	6,70	5,25	2,33	+0,30
87,06	Duclair	6,62	5,34	2,25	+0,39
105	La Bouille	6,61	5,43	2,24	+0,48
123,4	Rouen	6,89	5,64	2,52	+0,69
	Gironde et Garonne.				
0	Pointe de Grave	0,45	0,62	0,00	0,00
38	La Maréchale	0,80	0,65	0,35	0,03
51	Pouillac	0,81	0,87	0,36	0,05
61	Blaye	0,80	0,65	0,35	0,03
74	Bec d'Ambes	1,15	0,70	0,70	0,08
97	Bordeaux	1,37	0,92	0,92	0,30

L'abaissement du niveau de la mi-marée en morte eau doit nécessairement exercer une influence sur la valeur de l'amplitude de la marée, puisque celle-ci dépend de la profondeur moyenne du fleuve. L'effet ne sera peut-être pas très appréciable dans la partie aval du fleuve où les variations du niveau de la mi-marée sont peu importantes, mais il se fera sentir dans la région amont où cette même fixité du niveau moyen du fleuve n'existe pas. Citons quelques exemples : sur la Loire, la marée de vive eau mesure 5,^{m}20 à Saint-Nazaire et 2,^{m}25 à Chantenay; celle de morte eau, 3,^{m}00 à Saint-Nazaire et 1,^{m}90 à Chantenay, ce qui montre que la différence d'amplitude entre Saint-Nazaire et Chantenay est, toute proportion gardée, plus grande en vive eau qu'en morte eau. Ce fait doit être attribué à la diminution de la profondeur moyenne du fleuve à Chantenay en morte eau.

Sur la Seine nous avons :

Marée de vive eau. Amplitude de la marée :

Le Hâvre : 7,^{m}80 ; Rouen : 2,^{m}15.

Marée de morte eau. Amplitude de la marée :

Le Hâvre : 2,^{m}50 ; Rouen : 1,^{m}15.

L'amplitude théorique de morte eau à Rouen serait toutes autres choses étant égales à celle de la marée de vive eau :

$$2{,}15 \frac{2{,}50}{7\ 80} = 0.69$$

au lieu de 1,^{m}15 observé.

La Gironde et la Garonne donnent :

Marée de vive eau. Amplitude de la marée :

Pointe de Grave : 4,^{m}90 ; Bordeaux : 4,^{m}90.

Marée de morte eau. Amplitude de la marée :

Pointe de Grave : 1,^{m}50 ; Bordeaux : 2,^{m}80.

Soit une amplitude plus grande à Bordeaux qu'à la pointe de Grave en morte eau, et des amplitudes égales en vive eau. Ce phénomène est encore dû à l'abaissement du niveau moyen du fleuve en morte eau.

Nous avons vu par ce qui précède que le niveau moyen du fleuve se relève vers l'amont. Si cet exhaussement n'est pas accompagné d'une augmentation excessive de la hauteur de la marée, le lieu géométrique de marée basse présentera une pente vers l'aval, mais si l'amplitude s'accroît notablement, il peut arriver que le lieu géométrique de marée basse s'abaisse à mesure qu'on avance vers l'amont.

Le cas se présente sur l'Escaut entre Flessingue et Anvers

avec un abaissement maximum de 0^{m},25 observé à Hansweert. Le phénomène s'accentuerait encore si l'on réalisait la section d'égale vitesse à Bath.

En effet, les calculs faits au § 2 montrent que l'exécution de ce travail produirait un abaissement de 1,^{m}41 du niveau de marée basse.

Le même fait se remarque tout particulièrement sur le fleuve Saint-Laurent, mais il est aussi accompagné d'un accroissement considérable de la hauteur de la marée, comme le montrent les chiffres suivants :

Amplitude de l'onde fluviale :

Entrée du fleuve aux îles Mingan : 1,^{m}83.

Pointe des Monts : 3,^{m}60.

Rivière de Sagenay : 5,^{m}18.

Ile Coudres à 95 kilomètres en aval de Québec : 5,^{m}50.

L'abaissement du niveau de la mi-marée en morte eau et l'accroissement de la hauteur de l'onde fluviale qui en résulte, peuvent avoir pour conséquence que le lieu géométrique de marée basse soit plus haut en vive eau qu'en morte eau. Cela se produit toujours dans la partie amont du fleuve.

Le cas se présente sur l'Escaut maritime en amont de Termonde. Voir le tableau 23 ci-dessous qui se rapporte à la période d'observations 1888-1895.

Tableau 23.

Stations.	Cotes de la marée basse moyenne.		Stations.	Cotes de la marée basse moyenne.	
	Vive eau.	Morte eau.		Vive eau.	Morte eau.
	m.	m.		m.	m.
Flessingue	+ 0.12	+0.73	Hemixem	+0.26	+0.59
Terneuzen	0.00	0.60	Rupel	0.38	0.74
Hansweert	— 0.13	0.49	Thielrode	0.55	0.75
Bath	— 0.04	0.47	Baesrode	1.09	1.14
Lillo	— 0.03	0.58	Termonde	1.71	(1) *1.68*
Fort Philippe	+ 0.06	0.59	Wetteren	2.48	*2.45*
Anvers	+ 0.12	0.67	Gand	2.83	*2.75*

(1) Les cotes en caractères italiques sont celles qui sont plus petites que es cotes correspondantes de la marée de vive eau.

Le même phénomène est encore signalé sur d'autres fleuves et est rapporté par M. le baron Quinette de Rochemont, dans son *Cours des travaux maritimes*, t. Ier, p. 19, dans les termes suivants. « En général, dit M. le baron Quinette de Rochemont, le lieu géométrique des basses mers de vive eau est inférieur à celui des basses mers de morte eau sur une certaine longueur en aval ; puis il lui est ensuite supérieur en amont. C'est à la plus grande quantité d'eau introduite dans le fleuve en vive eau pendant la marée montante, qu'il faut attribuer ces résultats. Les lieux géométriques des basses mers se coupent sur la Seine près d'Aizier et en Gironde aux environs de Bordeaux. Ce point varie d'ailleurs avec les conditions du fleuve supérieur. »

§ 5. — **Vitesses de propagation de l'onde marée fluviale.**

Les vitesses de propagation à marée haute et à marée basse sont données par les relations 66 et 67. Dans ces relations tout est connu sauf les valeurs de V_h et V_b, qui ne peuvent être déterminées que par l'opération de la cubature, pour laquelle la vitesse de propagation doit être elle-même connue. Dans les calculs de vérification nous avons admis pour V_h et V_b une valeur approchée soit les 0.8 de la vitesse moyenne générale du courant de marée, le tableau 24 montre que cette valeur diffère très peu de la vitesse réelle à haute mer et à basse mer.

Tableau 24.

Stations.	Vitesse du courant à		Vitesse moyenne du courant de marée.	0.8 de la vitesse moyenne du courant de marée.
	marée haute.	marée basse.		
	m.	m.	m.	m.
Flessingue	0.70	0.50	0.63	0.50
Terneuzen	0.55	0.40	0.61	0.49
Hansweert	0.37	0.28	0.55	0.44
Bath	0.17	0.37	0.44	0.35
Lillo	0.48	0.52	0.65	0.52
Fort Philippe	0.53	0.50	0.61	0.49
Anvers	0.61	0.52	0.67	0.54
Hemixem	0.68	0.65	0.85	0.68
Rupel	0.42	0.80	0.86	0.69
Thielrode	0.23	0.59	0.69	0.55
Baesrode	0.24	0.40	0.45	0.36
Termonde	0.20	0.31	0.39	0.31
Wetteren	0.07	0.20	0.21	0.17
Gand	0.21	0.38	0.31	0.25

STATIONS.	Profondeur.		Vitesse de propagation $\sqrt{g(H+h)}$		Fonction réductrice : $\frac{1}{1+\frac{0,7}{(H+h)^2}}$		Vitesse de propagation corrigée.		Vitesse de flot à marée haute.	Vitesse de propagation à marée haute augmentée de la vitesse de flot à marée haute.	Valeur de $H+2h$.	Valeur de $\frac{H+h}{H+2h}$	Vitesse réelle de propagation calculée.		Vitesse moyenne de propagation calculée.		Temps de la propagation.		Heure calculée de la marée		Heure observée de la marée	
	Marée haute.	Marée basse.	Marée haute.	Marée basse.	Marée haute.	Marée basse.	Marée haute.	Marée basse.					Marée haute.	Marée basse.	Marée haute.	Marée basse.	Marée haute.	Marée basse.	haute.	basse.	haute.	basse.
	m.	m.	m.	m.			m.	m.	m.	m.	m.		m.	m.	m.	m.						
Flessingue . . .	14,84	11,16	12,06	10,48	0,995	0,993	12,02	10,41	0,50	12,52	18,52	0,8	10,04	9,91					0h. 00'00"	0h.00' 0"	0h.00'00"	0h.00'00"
															9,435	9,32	32'40"	33'5"				
Terneuzen . . .	12,77	8,83	11,14	9.31	0,994	0,990	11,10	9,22	0,49	11,59	16,71	0,763	8,83	8,73					32'40	33'5"	35'	35'
															8,330	8,20	30'37"	31'7"				
Hansweert . . .	11,06	6,90	10,42	8.23	0,993	0,985	10,36	8,11	0,44	10,80	15,22	0,726	7,83	7,67					1h.3'17"	1h.4'12"	1'15"	1h.06'
															7,685	7,515	8'53"	9'4"				
4,1 km. amont Hansweert.	10,61	6,39	10,21	7,91	0,992	0,984	10,14	7,78	0,42	10,56	14,83	0,715	7,54	7,36								
															6,390	5,605	26'28"	29'44"				
2 km. aval Bath.	6,69	2,31	8,11	4,77	0,985	0,883	7,99	4,22	0,37	8,36	11,07	0,605	5,06	3,85								
															5,045	3,850	6'36"	8'39"				
Bath	6,70	2,30	8,11	4,75	0,985	0,883	7,99	4,20	0,35	8,34	11,11	0,603	5,03	3,85					1h 45'14"	1h.51'39"	1h.46	1h.35'
															5,055	3,800	16'28"	21'57"				
5 km. amont Bath.	6,71	2,29	8,12	4,73	0,985	0,883	8,00	4,18	0,43	8,43	11,14	0,602	5,08	3,75								
															6,175	5,325	13'30"	15'38"				
1 km. aval Lillo .	10,25	5,81	10,02	7,55	0,992	0,980	9,93	7,40	0,50	10,43	14,70	0,697	7,27	6,90								
															7,275	6,890	2'17"	2'25"				
Lillo	10,25	5,81	10,02	7,55	0,992	0,980	9,93	7,40	0,52	10,45	14,70	0,697	7,28	6,88					2h.17'29"	2h.31'39"	2h.3'	2h.10'
															7,275	6,905	15'14"	16'2"				
Fort Philippe . .	10,23	5,84	10,01	7,57	0,992	0,980	9,92	7,42	0,49	10,41	14,64	0,698	7,27	6,93					2h.32'43"	2h.47'41"	2h.14'	2h.28'
															7,295	6,905	16'26"	17'23"				
Anvers	10,22	5,85	10,01	7,57	0,992	0,980	9,92	7,42	0,54	10,46	14,59	0,700	7,32	6,88					2h.49'9"	3h.5'4"	2h.24'	2h.40'
															7,375	6,820	27'58"	30'14"				
Hemixem . . .	10,19	5,88	10.00	7,59	0,992	0,980	9,92	7,44	0,68	10,60	14,50	0,702	7,43	6,76					3h.17'7"	3h.35'18"	2h.57'	3h.22'
															6,655	5,705	6'35"	7'40"				
Rupel	7,50	3,30	8,58	5,69	0,987	0,938	8,47	5,34	0,69	9,16	11,70	0,642	5,88	4,65					3h.23'42"	3h.42'58"	3h.09'	3h.34'
															5,725	4,590	27'40"	34'25"				
Thielrode . . .	7,04	3,03	8,32	5,47	0,984	0,930	8,18	5,08	0,55	8,73	11,03	0,637	5,57	4,53					3 51'22"	4h.20'23"	3h.28'	4h.09"
															5,315	4,390	32'00"	37'25"				
Baesrode . . .	5,98	2,62	7,66	5,07	0,981	0,908	7,52	4,61	0,36	7,88	9,34	0,641	5,06	4,25					4h.23'22"	4h.57'48"	3h.51'	4h.50'
															5,460	4,875	12'13"	13'40"				
4 km. amont Baesrode.	6,96	3,84	8,26	6,13	0,987	0,953	8,15	5,84	0,34	8,49	10,08	0,690	5,86	5,50								
															5,615	5,210	20'34"	21'38"				
Termonde . . .	5,98	3,22	7,66	5,62	0,981	0,932	7,52	5,23	0,31	7,83	8,74	0,685	5,37	4,92					4h.56'9"	5h.33'6"	4h.20'	5h.27'
															5,035	4,735	1h.16'5"	1h.20'50"				
Wetteren . . .	4,30	2,72	6,49	5,17	0,962	0,912	6,25	4,72	0,17	6,42	5,87	0,732	4,70	4,55					6h.12'14"	6h.53'6"	6h.01'	7h.31'
															4,420	4,105	55'30"	1h. 7'10"				
Gand	3,51	2,09	5,87	4,53	0,946	0,862	5,56	3,91	0,25	5,81	4,92	0,713	4,14	3,66					7h.7'44"	8h.1'6"	6h.54'	8h.45'

Tableau 26.

Stations.	Vitesses de propagation calculées.		Vitesses de propagation observées.	
	Marée haute.	Marée basse.	Marée haute.	Marée basse.
	m.	m.	m.	m.
Flessingue	9.435	9.32	8.81	8.81
Terneuzen	8.33	8.20	6.38	8.23
Hansweert	6.49	5.87	8.66	9.25
Bath	5.77	4.77	10.78	5.24
Lillo	7.275	6.905	10.08	6.16
Fort Philippe	7.295	6.905	12.00	6.67
Anvers	7.375	6.820	6.25	5.73
Hemixem	6.655	5.705	3.65	3.65
Rupel	5.725	4.590	8.34	4.52
Thielrode	5.315	4.390	7.15	4.01
Baesrode	5.56	5.08	6.18	4.84
Termonde	5.035	4.735	3.79	3.09
Wetteren	4.420	4.105	4.63	3.32
Gand				

Les calculs ci-dessus montrent que la vérification des formules théoriques se fait d'une manière très satisfaisante depuis l'embouchure jusqu'à Hansweert. Nous voyons notamment comment il peut se faire que sous l'action du contre-courant, la célérité à marée haute est sensiblement égale à celle de marée basse, ce qui ne ressort pas du tout de la formule théorique des ondes de translation : $V = \sqrt{g\,(H + h)}$ dans laquelle on néglige l'influence des phénomènes de frottement. Des différences assez importantes, entre la théorie et l'observation, sont à relever entre Hansweert et Lillo ; mais il faut remarquer que cette section du fleuve comprend la région troublée de Bath où il est difficile, si pas impossible, de faire un calcul sérieux de la célérité de l'onde. La vérification est beaucoup plus satisfaisante, en ce qui concerne la vitesse de propagation à marée haute en amont de Lillo. Nous y avons en effet :

Lillo-Tolhuys (Rupel).

Durée de la propagation à marée haute. { calculée : 3h.25′42″—2h 17′29″=1h.6′13″ ; réelle : 3h.9′ — 2h.3′ = 1h.6′

Durée de la propagation à marée basse. { calculée : 3h 42′58″—2h.31′39″=1h.11′19″ ; réelle : 3h 34′ — 2h.10′ = 1h.24′

Rupel-Gand.

Durée de la propagation à marée haute. { calculée : 7h.7′44″ — 3h.25′42″= 3h.44′2″ ; réelle : 6h.54′ — 3h.09′ = 3h.45′

Durée de la propagation à marée basse. { calculée: 8h.1′6″ — 3h.42′58″ = 4h.18′8′ ; réelle : 8h.45′ — 3h.34′ = 5h11′

Donc à marée haute il y a concordance mais à marée basse, il y a un écart de près d'une heure entre la théorie et l'observation.

§ 6. — Vitesses des courants de flot et de jusant.

Le diagramme des vitesses de flot et de jusant doit être déterminé par l'opération de la cubature. Ce travail a été fait par M. Van Brabandt, Ingénieur en chef Directeur des Ponts et Chaussées ; nous ne le recommencerons donc pas ici et nous nous permettons de renvoyer le lecteur au mémoire déjà cité de M. Van Brabandt, *Études sur le régime des rivières du bassin de l'Escaut maritime*, pour obtenir à ce sujet tous les renseignements et éclaircissements voulus.

§ 7. — Durées du gagnant et du perdant : durées du flot et du jusant.

Nous avons dit, dans l'étude théorique, que le flot dure approximativement autant que le gagnant et le jusant que le perdant. Le tableau 27 ci-dessous, donne la vérification de cette propriété pour l'Escaut maritime, quand on néglige la partie amont du fleuve où le débit d'amont prolonge considérablement la durée du jusant.

Ce tableau montre encore que l'écart maximum entre la durée du flot et du gagnant, celle du jusant et du perdant n'est que de vingt-quatre minutes et que l'écart moyen général pour l'ensemble du fleuve n'est que de sept minutes. Ces chiffres sont très faibles, surtout quand on les compare à la durée toujours considérable du flot et du jusant, du gagnant et du perdant. On peut donc dire que la durée du flot est sensiblement égale à celle du gagnant et celle du jusant à celle du perdant dans toutes les parties du fleuve où l'influence du débit d'amont est négligeable vis-à-vis de celle de la marée.

Tableau 27.

STATIONS	Durée du		Durée du		Différence entre le	
	flot	gagnant	jusant	perdant	flot et le gagnant	jusant et le perdant
Flessingue	6h05′	5h55′	6h20′	6h30′	+ 10′	— 10′
Terneuzen	6.19	5.55	6.06	6.30	+ 24	— 24
Hansweert	6.14	6.04	6.11	6.21	+ 10	— 10
Bath	5.56	6.06	6.29	6.19	— 10	+ 10
Lillo	5.50	5.48	6.35	6.37	+ 2	— 2
Fort Philippe	5.48	5.41	6.37	6.44	+ 7	— 7
Anvers	5.40	5.33	6.45	6.52	+ 7	— 7
Hemixem	5.22	5.30	7.03	6.55	— 8	+ 8
Rupel	5.22	5.30	7.03	6.55	— 8	+ 8
Thielrode	5.05	5.14	7.20	7.11	— 9	+ 9
Baesrode	4.50	4.56	7.35	7.29	— 6	+ 6
Termonde	4.46	4.48	7.39	7.37	— 2	+ 2
Wetteren	3.46	4.25	8.39	8.00	— 39(1)	+ 39
Différence en moyenne					+ 7′	— 7′

(1) La différence de 39′ pour le poste de Wetteren est négligée dans le calcul de la moyenne. Le résultat à Wetteren est fortement influencé par l'écoulement du débit d'amont.

§ 8. — Vitesses moyennes des courants de flot et de jusant.

Les vitesses moyennes du flot et du jusant sont données par les formules suivantes :

Vitesse moyenne du flot :

$$v_f = \frac{F}{l\left[H + \frac{h}{2}\left(1 + \frac{4800}{T_f}\right)\right] T_f}.$$

Vitesse moyenne du jusant :

$$v_j = \frac{J}{l\left[H + \frac{h}{2}\left(1 - \frac{4800}{T_j}\right)\right] T_j}.$$

Appliquons ces formules aux différents postes marégraphiques de l'Escaut où l'on a déterminé par la voie de cubature les vitesses moyennes du flot et du jusant. Les profondeurs et les largeurs qui interviennent dans les calculs sont les dimensions réelles du fleuve aux points considérés.

Flessingue. — Données.

$H = 13^m,36$ $\quad l = 5250$ mètres.

$T_f = 6 \times 3600'' + 5 \times 60'' = 21900''$

$T_j = 44700 - 21900 = 22800''$.

$F = 1.176.294.300$ mètres cubes.

$J = 1.181.971.200$ mètres cubes.

$$v_f = \frac{1.176.294.300}{5250\left[13,36 + 1,84\left(1 + \frac{4800}{21900}\right)\right] 21900} = 0,654 \text{ m.}$$

$$v_j = \frac{1.181.971.200}{5250\left[13,36 + 1,84\left(1 - \frac{4800}{22800}\right)\right] 22800} = 0,665 \text{ m.}$$

Terneuzen. — Données :

$H = 8^m.93$ $\quad l = 4975$ mètres.

$T_f = 6 \times 3600 + 19 \times 60 = 22740''$

$T_j = 44700 - 22740 = 21960''$

$F = 750.563.400$ mètres cubes.

$J = 755.659.200$ mètres cubes.

$$v_f = \frac{750.563.400}{4975\left[8,93 + 1,97\left(1 + \frac{4800}{22740}\right)\right] 22740} = 0,584 \text{ m.}$$

$$v_j = \frac{755.659.200}{4975\left[8,93 + 1,97\left(1 - \frac{4800}{21960}\right)\right] 21960} = 0^m\ 66$$

Hansweert. — Données :

$H = 6^m,90$ $\qquad l = 4250$ mètres.
$T_f = 6 \times 3600 + 14 \times 60 = 22440''$
$T_j = 44700 - 22440 = 22260''$
F = 481.526.000 mètres cubes.
J = 486.219.500 mètres cubes.

$$v_f = \frac{481\ 526.000}{4250\left[6,90 + 2,08\left(1 + \frac{4\ 00}{22440}\right)\right] 22440} = 0^m,535$$

$$v_j = \frac{486.219.500}{4250\left[6,90 + 2\ 08\left(1 - \frac{4800}{22260}\right)\right] 22260} = 0^m,602$$

Bath. — Données :

$H = 2^m,55$ $\qquad l = 4460$ mètres.
$T_f = 5 \times 3600 + 56 \times 60 = 21360''$
$T_j = 44700 - 21360 = 23340''$
F = 187.068.800 mètres cubes.
J = 191.360.000 mètres cubes.

$$v_f = \frac{187.068.800}{4460\left[2.55 + 2,20\left(1 + \frac{4800}{21360}\right)\right] 21360} = 0^m,375$$

$$v_j = \frac{191.360.000}{4460\left[2.55 + 2,20\left(1 - \frac{4800}{23340}\right)\right] 23340} = 0^m,428$$

Lillo. — Données :

$H = 5^m,63$ $\qquad l = 820$ mètres.
$T_f = 5 \times 3600 + 50 \times 60 = 21000''$
$T_j = 44700 - 21000 = 23700''$
F = 92.389.300 mètres cubes.
J = 96.457,000 mètres cubes.

$$v_f = \frac{92.389\ 300}{820\left[5,63 + 2,22\left(1 + \frac{4800}{21000}\right)\right] 21000} = 0^m,642$$

$$v_j = \frac{96.457.000}{820\left[5,63 + 2,22\left(1 - \frac{4800}{23700}\right)\right] 23700} = 0,67 \text{ m.}$$

Fort Philippe — Données :

$H = 6^m.43$ $\qquad l = 640$ mètres.
$T_f = 5 \times 3600 + 48 \times 60 = 20880''$
$T_j = 44700 - 20880 = 23820''$
F = 73.950.500 mètres cubes.
J = 77.884.100 mètres cubes.

$$v_f = \frac{73.950.500}{640\left[6,43 + 2.20\left(1 + \frac{4800}{20880}\right)\right] 20880} = 0,604 \text{ m.}$$

$$v_j = \frac{77.884.100}{640\left[6,43 + 2,20\left(1 - \frac{4800}{23820}\right)\right] 23820} = 0,624 \text{ m.}$$

Anvers. — Données :

$H = 7^m,31$ $\qquad l = 432$ mètres.
$T_f = 5 \times 3600 + 40 \times 60 = 20400''$
$T_j = 44700 - 20400 = 24300''$
F = 59.341.900 mètres cubes.
J = 63.141.400 mètres cubes.

$$v_f = \frac{59.341\ 900}{432\left[7,31 + 2,19\left(1 + \frac{4800}{20400}\right)\right] 20400} = 0,672 \text{ m.}$$

$$v_j = \frac{63\ 141.400}{432\left[7,31 + 2,19\left(1 - \frac{4800}{24300}\right)\right] 24300} = 0,667 \text{ m.}$$

Hemixem. — Données :

$H = 5^m,25$ $\qquad l = 312$ mètres.
$T_f = 5 \times 3600 + 22 \times 60 = 19320''$
$T_j = 44700 - 19320 = 25380''.$
F = 41.733.250 mètres cubes.
J = 45.331,600 mètres cubes.

$$v_f = \frac{41\ 733.250}{312\left[5.25 + 2,15\left(1 + \frac{4800}{19320}\right)\right] 19320} = 0,872 \text{ m.}$$

$$v = \frac{45.331.600}{312\left[5,25+2,15\left(1-\frac{4800}{25380}\right)\right]25380} = 0,818 \text{ m.}$$

Thielrode. — Données :

$H = 2^m,85.$ $l = 240$ mètres.

$T_f = 5 \times 3600 + 5 \times 60 = 18300''$

$T_j = 44700 - 18300 = 26400''$

$F = 16.841.760$ mètres cubes.

$J = 18.629.760$ mètres cubes.

$$v_f = \frac{16.841.760}{240\left[2,85+2\left(1+\frac{4800}{18300}\right)\right]18300} = 0.713 \text{ m.}$$

$$v_j = \frac{18.629.760}{240\left[2.85+2\left(1-\frac{4800}{26400}\right)\right]26400} = 0,654 \text{ m.}$$

Baesrode. — Données :

$H = 4^m,47$ $l = 112$ mètres.

$T_f = 4 \times 3600 + 50 \times 60 = 17400''$

$T_j = 44700 - 17400 = 27300''$

$F = 6.224.000$ mètres cubes.

$J = 7.810.850$ mètres cubes.

$$v_f = \frac{6.224.000}{112\left[4,47+1.68\left(1+\frac{4800}{17400}\right)\right]17400} = 0^m,483$$

$$v_j = \frac{7.810.850}{112\left[4,47+1,68\left(1-\frac{4800}{27300}\right)\right]27300} = 0^m,437 .$$

Termonde. — Données :

$H = 4^m.17$ $l = 85$ mètres,

$T_f = 4 \times 3600 + 46 \times 60 = 17160''$

$T_j = 44700 - 17160 = 27540''$

$F = 3.429.960$ mètres cubes.

$J = 4.614.510$ mètres cubes.

$$v_f = \frac{3.429.960}{85\left[4,17+1,38\left(1+\frac{4800}{17160}\right)\right]17160} = 0^m,396$$

$$v_j = \frac{4.614.510}{85\left[4,17+1,38\left(1-\frac{4800}{27540}\right)\right]27540} = 0^m,572 .$$

Wetteren. — Données :

$H = 3^m,11$ $l = 53^m,50.$

$T_f = 3 \times 3600 + 46 \times 60 = 13560''$

$T_j = 44700 - 13560 = 31140''$

$F = 439.355$ mètres cubes.

$J = 1.489.805$ mètres cubes.

$$v_f = \frac{439.355}{53,5\left[3,11+0,79\left(1+\frac{4800}{13560}\right)\right]13560} = 0^m.145$$

$$v_j = \frac{1.489\ 805}{53,5\left[3,11+0,79\left(1-\frac{4800}{31140}\right)\right]31140} = 0^m,236 .$$

Tableau 28.

Tableau comparatif des vitesses moyennes de flot et de jusant obtenues d'une part par le calcul, d'autre part par la voie de cubature.

STATIONS	Vitesses moyennes de flot obtenues		Vitesses moyennes de jusant obtenues	
	par calcul	par cubature	par calcul	par cubature
	m.	m.	m.	m.
Flessingue	0.654	0.575	0.665	0.677
Terneuzen	0.584	0.572	0.660	0.668
Hansweert	0.535	0.523	0.602	0.584
Bath.	0.375	0.408	0.428	0.476
Lillo.	0.642	0.610	0.670	0.678
Fort Philippe	0.604	0.579	0.624	0.645
Anvers	0.672	0.658	0.667	0.682
Hemixem	0.872	0.863	0.818	0.854
Thielrode	0.713	0.709	0.654	0.678
Baesrode.	0.483	0.478	0.437	0.440
Termonde	0.396	0.383	0.372	0.392
Wetteren	0.145	0.143	0.236	0.239

Il résulte des calculs ci-dessus que les formules théoriques donnent des résultats très précis pour l'ensemble du fleuve. Elles sont donc d'une application réellement pratique, chaque fois qu'il suffit de connaître la vitesse moyenne du flot et du jusant, ce qui est le cas dans la majeure partie des problèmes qui peuvent se présenter sur un fleuve à marée.

(A suivre.)

CHRONIQUE

ALLEMAGNE.

Le nouveau réglement allemand concernant le calcul des ponts-rails métalliques (1). — Les prescriptions du nouveau réglement des chemins de fer allemands, relatives au coefficient de choc et aux pièces chargées de bout, sont particulièrement intéressantes.

Tous les efforts produits par la charge mobile doivent être multipliés par le coefficient $= 1{,}20 + \frac{17}{l + 28}$ pour les ponts dont la voie est posée directement sur la charpente métallique sans interposition de traverses, l étant la portée du pont en mètres.

Si la voie est posée sur traverses . . . $\varphi = 1{,}19 + \frac{21}{l + 46}$.

Enfin, si la voie est étanche et ballastée,

on prend . . . . $\varphi = 1{,}111 + \frac{56}{l + 144}$.

Pour $l = 0$, on trouve $\varphi = 1{,}8$, $1{,}65$ ou $1{,}50$.

Pour $l = 50\ m$ $\varphi = 1{,}42$, $1{,}41$ ou $1{,}40$.

A partir de cette portée la formule moyenne seule est valable. Pour $l = 140\ m$ $\varphi = 1{,}3$, chiffre que l'on conserve pour les portées plus grandes.

L'introduction de ce coefficient permet d'augmenter les tensions admissibles. Elles atteignent pour l'acier doux laminé ordinaire (limite d'élasticité 24 kg./mm²) le taux de 14 kg./mm² pour l'ensemble du poids mort, de la charge mobile, de la force centrifuge et des variations de température, et le taux de 16 kg./mm² si l'on y ajoute l'effet du vent, du freinage, du lacet, du frottement des appuis, du recul des culées et de l'affaissement des piles.

Pour les pièces comprimées on admet que les tensions de flambe-

(1) V. *A. T. P.*, p. 839 de 1922. Erratum : p. 840 : 10 et 11 lignes, lire : mètre carré au lieu de mètre courant.